

UDK 528.74:528.932:004.92(497.5)
Pregledni znanstveni članak / Review

Analiza visinske točnosti službenoga vektorskoga digitalnoga modela reljefa Republike Hrvatske dobivenog fotogrametrijskom restitucijom

Karlo ŠIMEK – Pula¹, Damir MEDAK, Ivan MEDVED – Zagreb²

SAŽETAK. Za prikupljanje prostornih podataka većih zahvata u prostoru sve se više upotrebljavaju metode izmjere terena koje su ekonomski isplativije te ne zahtijevaju predugački vremenski rok za realizaciju projekta. Cilj ovog članka bio je analizirati visinsku točnost službenoga DMR-a Republike Hrvatske dobivenog fotogrametrijskom restitucijom, kao primjer takvog tipa prostornih podataka. Upravo zbog načina njegova nastanka, to je ujedno i najtočniji službeni DMR Republike Hrvatske prikupljen u gradskim područjima na razini cijele države. Prostorna analiza provedena je na područjima različitih topografskih značajki. Ispitivanje visinske točnosti DMR-a provedeno je ovisno o nagibu terena, izgrađenosti grada i vegetaciji. Visinska točnost DMR-a nastalog fotogrametrijskom restitucijom analizirana je u odnosu na katastarske točke geodetske osnove, terestrička mjerenja te DMV dobiven na osnovi SRTM podataka. Računalna priprema i obrada prostornih podataka provedena je uz pomoć profesionalnih softvera AutoCAD Civil 3D, Global Mapper i QGIS, dok je analiza točnosti i vizualizacija izvedena u programskom paketu ArcGIS. Ovo istraživanje moglo bi se iskoristiti za studije izvodivosti izgradnje sustava odvodnje oborinskih voda te za druge pripremne radove pri izradi geoprostornih projekata na većim zahvatima u prostoru.

Ključne riječi: analiza, visinska točnost, DMR, fotogrametrija, nagib, GNSS.

1. Uvod

Urbanizacijom i smanjenjem prirodnih površina u gradovima povećava se potreba za novom podzemnom i nadzemnom infrastrukturom. Nova ljudska, naizgled neograničena, sposobnost da preoblikuje prirodnu okolinu, kao i ekspanzija objekata svih vrsta, povećana proizvodnja materijalnih dobara i ideja te smanjenje troškova

¹ Karlo Šimek, mag. ing. geod. et geoinf., Šimek d.o.o., Rizzijeva 103, HR-52100 Pula, Hrvatska, e-mail: karlo@geodezija-istra.com,

² prof. dr. sc. Damir Medak, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: dmedak@geof.hr,

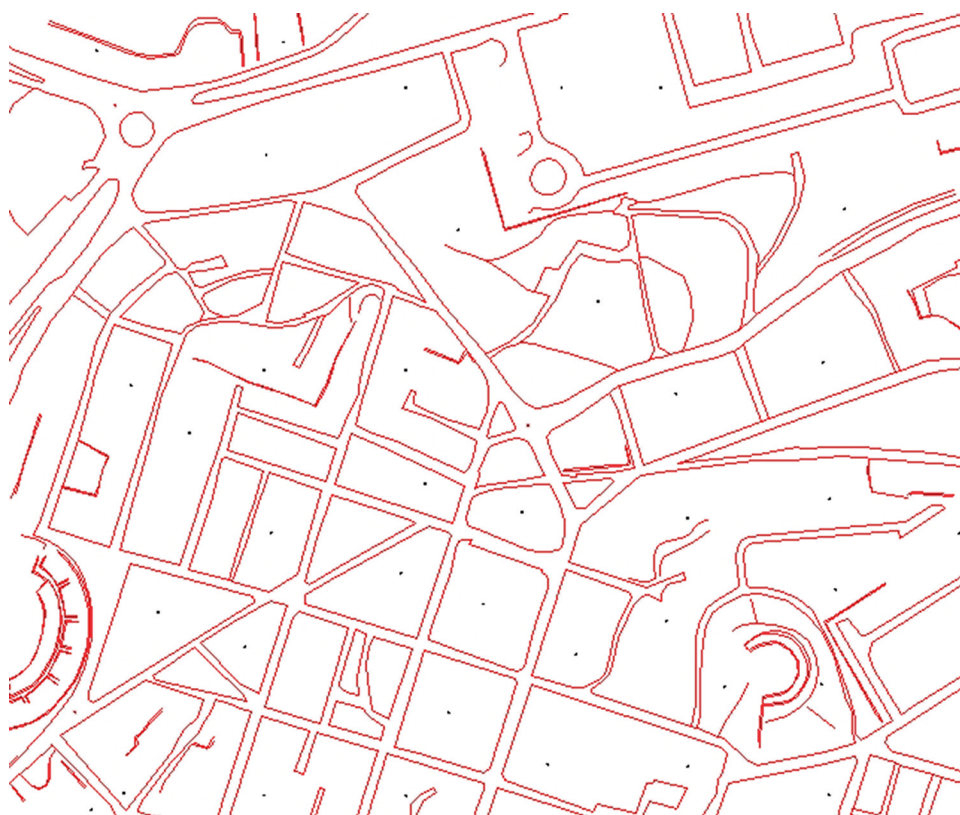
doc. dr. sc. Ivan Medved, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: ivan.medved@rgn.hr.

njihove proizvodnje, vode do radikalnih društvenih i prostornih promjena (Bublin 2009). Smanjenjem udjela zelenih površina i povećanjem stupnja izgrađenosti grada, gdje se veliki nagibi koji vode u jednu depresijsku točku, pritom ne vodeći brigu o povećanju broja slivnih kanala i povećanju promjera odvodnih kanala, javljaju se kritične točke sustava odvodnje oborinskih voda (Šimek i dr. 2016). Sve to uvjetuje veliki angažman lokalne samouprave za izradu projekata i realizaciju većih zahvata u prostoru poput izgradnje sustava za odvodnju oborinskih voda.

Za izradu velikih geoprostornih projekata poput izgradnje sustava za odvodnju oborinskih voda potrebne su geodetske podloge za projektiranje odnosno analize izvedivosti projekata. Digitalni model visina (DMV) naziv je koji potječe iz zemalja njemačkoga govornog područja i tipično se odnosi na sustav visina u obliku običnoga grida točaka. To je pravokutni grid ili matrica ćelija koja pokriva određenu površinu. DTM je složeniji koncept te osim visine točaka uključuje i druge karakteristike terena, kao što su prijelomnice, strukturne linije i karakteristične točke (Davidović i dr. 2016). Zbog kompleksnosti prikaza reljefa Zemljine površine znanstvenici pridaju veliku pozornost izradi i analizi digitalnog modela reljefa (DMR-a). DMR ima široku primjenu u različitim znanstvenim poljima poput geomorfologije, hidrologije, ekologije, klimatologije, kartografije, geologije, geostatistike i dr. Pri uporabi DMV-a, npr. u definiranju prirodnih slivova, pogreške modela nakupljaju se u rezultatima analize. Istraživanje tog fenomena poznato je kao pogreška propagacijske analize, koja ima izravni utjecaj na donošenje odluka temeljenih na interpretacijama i aplikacijama analize terena (Oksanen 2006).

Državna geodetska uprava (DGU) raspolaže s tri DMR-a na razini cijele Republike Hrvatske: izvornim podacima DMR-a nastalim fotogrametrijskom restitucijom u vektorskom formatu zapisa (slika 1), izvornim podacima DMR-a nastalim vektorizacijom slojnog plana iz Hrvatske osnovne karte (HOK-a) u vektorskom formatu zapisa te DMV-om rezolucije 25×25 m u American Standard Code for Information Interexchange (ASCII) formatu zapisa, nastalom interpolacijom odgovarajućeg službenog DMR-a Republike Hrvatske. U prijašnjim istraživanjima Šamanović i dr. (2017) analizirali su DMV rezolucije 25×25 m na tri geomorfometrijski različita područja, gdje su rasteri visinskih točaka kreirani metodom interpolacije iz podataka fotogrametrijske izmjere i metodom slikovne korelacije u dvije rezolucije (5×5 m i 25×25 m). U radu su prikazane razlike pri primjeni dviju metoda izračuna DMV-a. Šiljeg (2013) je prilikom izrade DMR-a za park prirode Vransko jezero opisao postupak izrade DMR-a vektorizacijom izohipsi s HOK-a u mjerilu 1:5000, istovremeno provodeći analizu točnosti takvog 3D modela.

Terestrička mjerenja najtočniji su način za prikupljanje prostornih podataka te se upotrebljavaju u inženjerskoj geodeziji gdje je potreba za točnošću ulaznih podataka najveća. Međutim, za velike površine, terestrička su mjerenja skupa i dugotrajna te stoga manje učinkovita od metoda daljinskih istraživanja (Balenić i dr. 2018). Analiza visinske točnosti službenoga vektorskoga DMR-a Republike Hrvatske dobivenog fotogrametrijskom restitucijom interesantna je zbog toga što bi se on, s obzirom na njegovu točnost, mogao upotrebljavati u različitim hidrološkim studijama na području gradova. Podaci za izradu i ažuriranje DMR-a prikupljeni su fotogrametrijskim kartiranjem uz pomoć digitalnih fotogrametrijskih stanica iz aerofotogrametrijskog snimanja 2014. godine. U ovom istraživanju provedena je analiza visinske točnosti DMR-a na područjima različitih geomorfometrijskih



Slika 1. DMR nastao fotogrametrijskom restitucijom u vektorskom formatu zapisa.

značajki. Ispitivanje visinske točnosti DMR-a provedeno je na mjestima različitog nagiba terena, različite izgrađenosti grada i vegetacije. U dva slučaja riječ je o analizi na području s konstantnim nagibima terena od oko 1%, dok je u trećem slučaju riječ o području s karakterističnim naglim promjenama nagiba terena. Visinska točnost DMR-a nastalog fotogrametrijskom restitucijom analizirana je u odnosu na katastarske točke geodetske osnove, terestrička mjerenja te DMV dobiven na osnovi Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) podataka. Za ovo istraživanje SRTM podaci poslužili su isključivo za usporedbu rezultata visinske točnosti zbog toga što su DMV SRTM najčešće korišteni 3D modeli u sličnim prethodnim istraživanjima.

2. Ulazni podaci i priprema podataka za analizu

Digitalni model reljefa statistička je prezentacija površine tla s velikim brojem točaka poznatih X, Y, Z vrijednosti. Točnost točaka dostupnih u DMV-u samo je

jedan aspekt kvalitete DMV-a, razmak točaka također je važan, a oba vode do morfološke kvalitete vidljive na linijama slojnica (Sefercik i dr. 2007). Postoje mnoge interpolacijske metode koje primjenjuju različite postupke za predviđanje vrijednosti na mjestima gdje nisu prikupljeni podaci mjerenjima. Korelacija se defini- ra razinom međuovisnosti između objekata te snagom međuovisnosti i sličnosti objekata unutar tog područja.

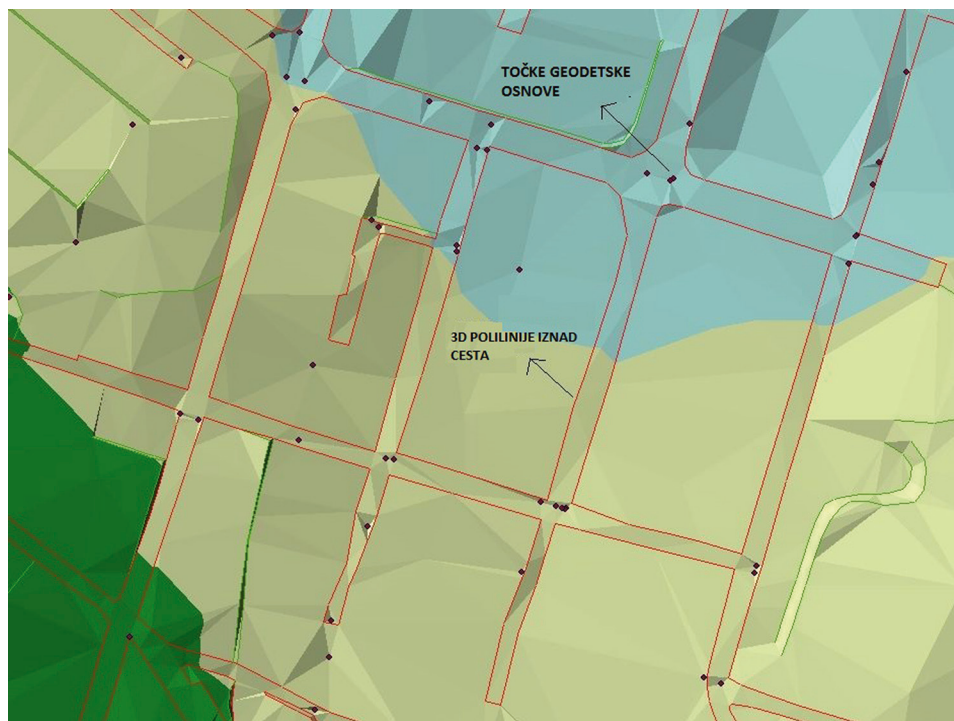
Od svih službenih DMR-ova Republike Hrvatske, DMR nastao fotogrametrijskom restitucijom najtočniji je za urbana područja. Razlog tome je što se najveća količi- na prikupljenih podataka (3D polilinije) nalazi upravo iznad ulica gradova. Drugi set podataka za ovo istraživanje bile su katastarske točke geodetske osnove. One su služile kao visinska osnova pri interpolaciji vektorskog DMR-a, ali i za ispitiva- nje visinske točnosti DMR-a na mjestima za koja nisu prikupljeni prostorni poda- ci terestričkim mjerenjima. Treći set podataka bile su geodetske podloge za pro- jektiranje izrađene na osnovi terestričkih mjerenja pomoću Global Navigation Satellite System (GNSS) uređaja i totalnih stanica. Kao četvrti set podataka bio je korišten DMV (30 m) dobiven na osnovi SRTM mjerenja.

SRTM globalni set podataka pokriva i gradska područja, pružajući uvid u 2D i 3D mnogih njegovih značajki (Gamba i dr. 2002). Iako se DMV SRTM set podataka često upotrebljava u hidrološkim istraživanjima, nije se pokazao dovoljno točnim za takva istraživanja, osobito u urbanim sredinama gdje tražena točnost DMR-a raste. Točnost rezultata ovisi o rezoluciji i kvaliteti korištenog DMV-a te se stoga treba predefinirati prilikom obrade podataka. Unatoč tome, SRTM podaci rezolu- cije 90 m mogu se smatrati pouzdanima samo za velike hidrološke studije (Mendas 2010). Pri izradi drenažnih modela u hidrološkim istraživanjima često vrijede slje- deće pretpostavke: (i) jednolike padaline; (ii) tokovi se odvijaju po cijeloj površini koja se ne mijenja i na njih ne utječe apsorpcija (zbog različitih vrsta tla ili stijena) i podzemne vode; (iii) tokovi rastu kao linearna funkcija udaljenosti i ne mijenjaju se promjenom vrijednosti nagiba, već samo po smjeru; (iv) nema prepreka za pro- tok; (v) obuhvat zahvata analize potpun je i neprekinut (de Smith i dr. 2015). Smjer u kojem voda izlazi iz piksela uzima u obzir njegove neposredne okolne piksele. To je mreža piksela koja pokazuje najstrmiji smjer od jednog piksela pre- ma okolnim pikselima (Akajiaku i Ngozi 2015). SRTM DMV-a u prethodnim je istraživanjima često uspoređivan s podacima Advanced Spaceborne Thermal Emis- sion and Reflection Radiometer (ASTER) DMV-a. ASTER podaci korišteni su za proučavanje širokog spektra problema koji se odnose na Zemljinu površinu, uklju- čujući vegetaciju i dinamiku ekosustava, praćenje opasnosti, geologiju, klima- tologiju Zemljine površine, hidrologiju te promjenu Zemljina pokrova (AL-Harbi i Tansey 2007). Analizom točnosti pokazalo se da ASTER podaci imaju ne- što veću točnost u visinskom smislu od SRTM podataka (Kwanchai i Masataka 2015).

Ovom analizom ispitali smo ovisnost točnosti DMR-a nastalog fotogrametrijskom restitucijom na mjestu malog nagiba terena, na mjestu jače vegetacije i u središtu grada, gdje je izgrađenost u vertikalnom smislu najveća. Cijelo istraživanje provedeno je na području grada Pule.

Za ovo istraživanje korišteno je nekoliko setova podataka: SRTM DMV (30 m) u ASCII zapisu, službeni DMR Republike Hrvatske dobiven fotogrametrijskom re- stitucijom, podaci prikupljeni terestričkim mjerenjima te katastarske točke geo- detske osnove. Službeni DMR Republike Hrvatske, koji je nabavljen od Državne

geodetske uprave (DGU), skup je vektorskih podataka koji se sastoji od 3D polilinja, 3D linija i 3D točaka. U gradovima su ceste najvažnije za prikupljanje prostornih podataka zbog svih infrastrukturnih projekata koji se odvijaju izravno ispod njihove površine, kao što je npr. sustav odvodnje oborinskih voda. Pošto se najveći stupanj visinske točnosti zahtijeva upravo na ulicama, DMR je interpoliran Delaunayevom konformnom triangulacijom uz dodjeljivanja težina ulaznim podacima, tako da su 3D polilnije iznad ulica definirane kao prijelomnice, tj. da iz interpolacijskog procesa izađu s nepromjenljivom visinom. Delaunayeva konformna interpolacijska metoda proglašuje segmente oko prijelomnica s dodatnom mrežom trokuta kako bi se upravo ondje povećala visinska točnost izlaznog modela (URL 1). Sve ostale 3D linije, 3D polilnije i 3D točke, koje su sastavni dio službenog DMR-a Republike Hrvatske dobivenog fotogrametrijskom restitucijom, također su se upotrebljavale u interpolaciji kako bi se dobila najbolja predodžba terena (slika 2). Prilikom analize visinske točnosti DMR-a u odnosu na točke geodetske osnove, one se nisu upotrebljavale u procesu interpolacije. Međutim, kada je visinska točnost DMR-a ispitivana u odnosu na terestrička mjerenja, točke geodetske osnove upotrebljavane su kao visinska osnova pri interpolaciji, tj. da iz interpolacijskog procesa izađu s nepromjenljivom visinom. Na slici 2 vidimo interpolirani službeni DMR Republike Hrvatske dobiven fotogrametrijskom restitucijom, gdje su u proces interpolacije uključene i točke geodetske osnove kao visinska osnova.



Slika 2. Interpolirani DMR s točkama geodetske osnove.

Prije ispitivanja visinskog odstupanja DMR-a u odnosu na katastarske točke geodetske osnove, one su snimljene GNSS uređajem (tablica 1). Sukladno Tehničkim specifikacijama za određivanje koordinata točaka u koordinatnom sustavu Republike Hrvatske, točke su mjerene GNSS uređajem s osloncem na CROPOS VPPS, CROPOS VRS_HDKS uslugu, u starom visinskom sustavu (Trst). Opažano je 3 puta po 30 epoha, svaki put s ponovljenim određivanjem ambiguiteta, u dva neovisna mjerenja s međusobnim vremenskim razmakom većim od 2 sata. Srednje apsolutno odstupanje po osi Y iznosilo je 0,04 m, po osi X je 0,05 m, a srednje apsolutno visinsko odstupanje iznosilo je također 0,05 m.

Prije daljnje analize iz popisa točaka geodetske osnove izbačene su sve crkve i ostale točke koje ne daju pravu visinsku predodžbu terena ili povijesno nisu nikad visinski izjednačene trigonometrijskim ili nivelmanskim vlakovima.

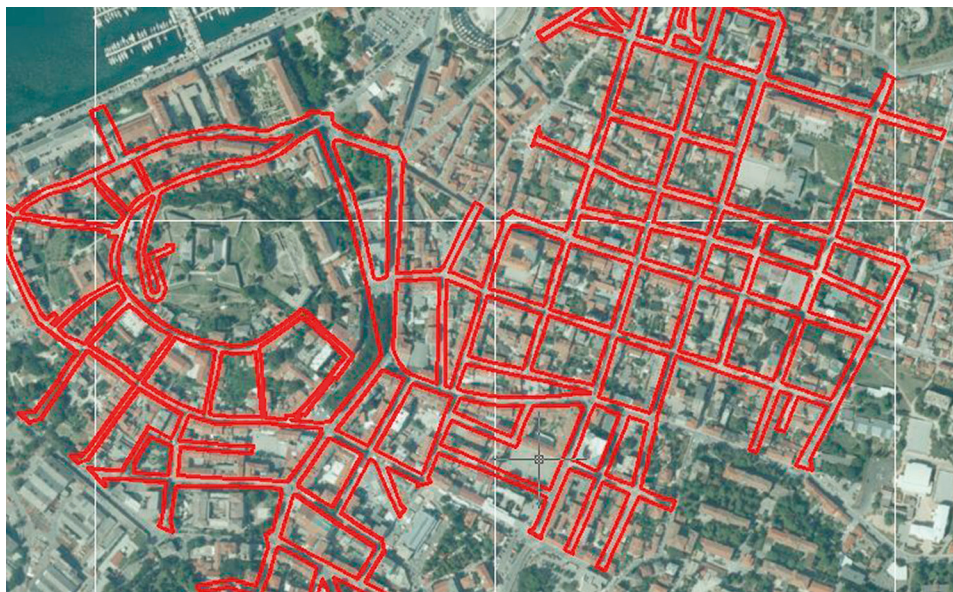
Tablica 1. *Visinsko odstupanje točaka geodetske osnove u odnosu na GNSS CROPOS/HDKS.*

Točke geodetske osnove – katastar				Točke geodetske osnove – GNSS			Odstupanja		
Broj točke	Y (m)	X (m)	H (m)	Y (m)	X (m)	H (m)	ΔY (m)	ΔX (m)	ΔH (m)
20579	5409636,47	4971354,29	29,55	5409636,44	4971354,35	29,48	0,03	-0,06	0,07
22697	5406651,70	4974141,15	3,78	5406651,64	4974141,21	3,80	0,06	-0,06	-0,02
29301	5407200,42	4973565,59	28,41	5407200,41	4973565,54	28,46	0,01	0,05	-0,05
27833	5407937,57	4973859,71	14,01	5407937,49	4973859,66	13,92	0,08	0,05	0,09
27844	5407780,83	4974110,34	13,87	5407780,80	4974110,34	13,88	0,03	0,00	-0,01
355	5406018,81	4976422,39	3,25	5406018,86	4976422,39	3,19	-0,05	0,00	0,06
25464	5406112,64	4976449,77	4,02	5406112,76	4976449,78	4,06	-0,12	-0,01	-0,04
22865	5409874,01	4971162,39	25,80	5409874,05	4971162,52	25,76	-0,04	-0,13	0,04
47117	5409837,01	4971305,87	30,71	5409837,02	4971305,99	30,63	-0,01	-0,12	0,08
45644	5409871,28	4971357,46	32,81	5409871,29	4971357,53	32,76	-0,01	-0,07	0,05

3. Rezultati obrade i analiza visinske točnosti DMR-a

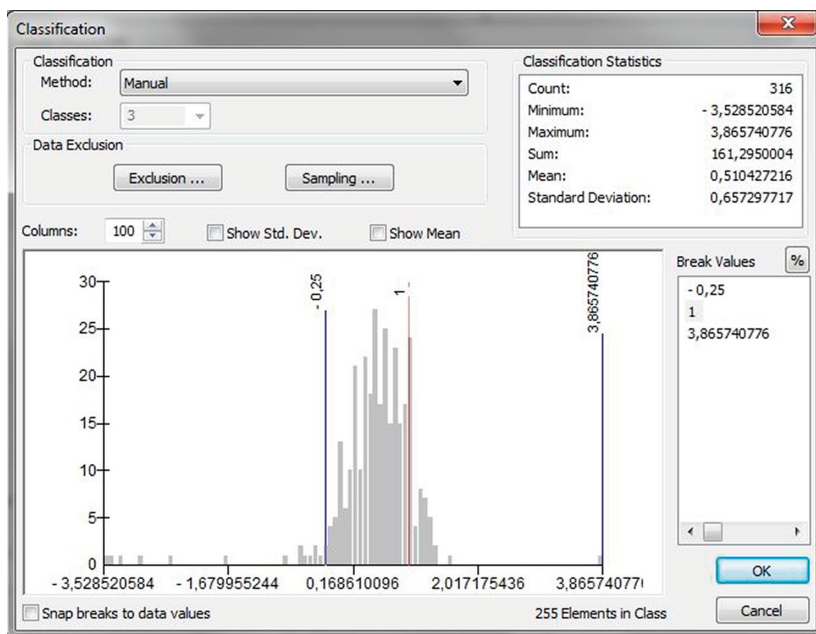
Prvi dio istraživanja proveden je za područje cijeloga grada Pule. Točnost mjerenja definirana je razlikom između vrijednosti DMR-a i referentnih vrijednosti (Höhle i Potuckova 2011). Visinsko odstupanje DMR-a u odnosu na katastarske točke geodetske osnove, koje su u ovom slučaju referentna vrijednost, bilo je jedan od glavnih pokazatelja visinske točnosti DMR-a. Pritom, pri izradi TIN-a iz

vektorskog DMR-a nisu upotrebljavane katastarske točke geodetske osnove kao visinska osnova za interpolaciju. Rezultati analize visinskog odstupanja tako interpoliranog rasterskog DMR-a u odnosu na točke geodetske osnove pokazuju da je 5140 od ukupno 6794 katastarskih točaka u rasponu od ± 1 m. To je više od 75% te je dobar pokazatelj za daljnja istraživanja. Nakon uklanjanja ekstremnih odstupanja iz statističke analize rezultati pokazuju da je oko 40% točaka u rasponu od $\pm 0,5$ m, a srednja vrijednost svih visinskih odstupanja oko 0,15 m (tablica 2). Nadalje, provedena je analiza visinskog odstupanja između SRTM DMV-a (30 m) i tako interpoliranog DMR-a. Kao i u prethodnim istraživanjima, rezultati pokazuju slabu točnost SRMT DMV-a na području gradova. Nakon uklanjanja ekstremnih odstupanja iz statističke analize rezultati pokazuju da je samo oko 17% vrijednosti u rasponu od $\pm 0,5$ m. Iako je srednje visinsko odstupanje također nešto ispod 0,15 m, većina vrijednosti (oko 80%) nalazi se unutar raspona od ± 3 m.



Slika 3. Gradske prometnice s preklopom na DOF5 2011.

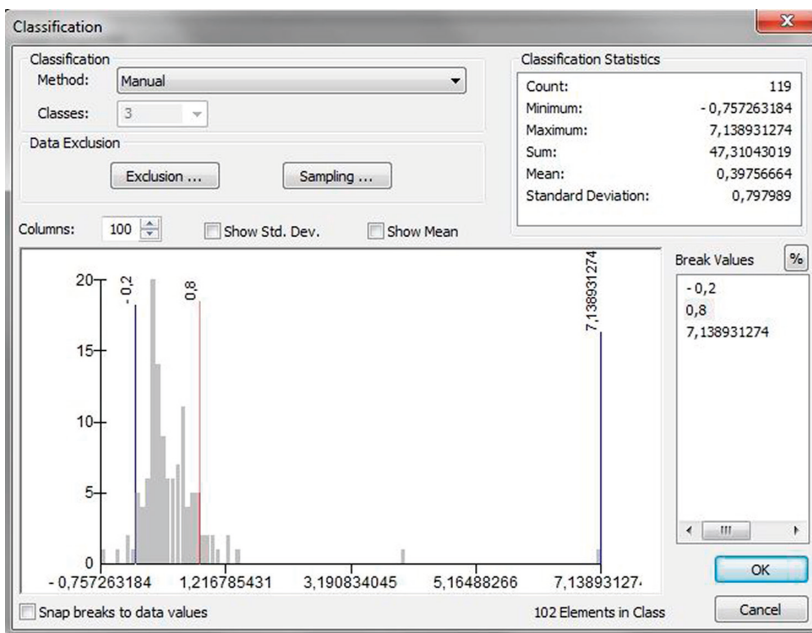
Sljedeći dio istraživanja bazirao se na ulicama u starom dijelu grada Pule. Većina točaka geodetske osnove nalazi se ne samo iznad gradskih prometnica, već i iznad nogostupa i bankina. Stoga se obuhvat zahvata za visinsku analizu proširio za 2 metra iznad prometnica, kako bi se što više točaka geodetske osnove obuhvatilo u istraživanje (slika 3). Nakon uklanjanja ekstrema rezultati visinskog odstupanja između rasterskog DMR-a i katastarskih točaka geodetske osnove pokazuju da je 255 od 316 mjenjenih točaka (oko 80%) u rasponu od $-0,25$ m do $+1$ m, sa srednjom vrijednosti 0,51 m i standardnim odstupanjem 0,65 m (slika 4). Međutim, samo oko 40% vrijednosti je u rasponu od $\pm 0,5$ m (tablica 2).



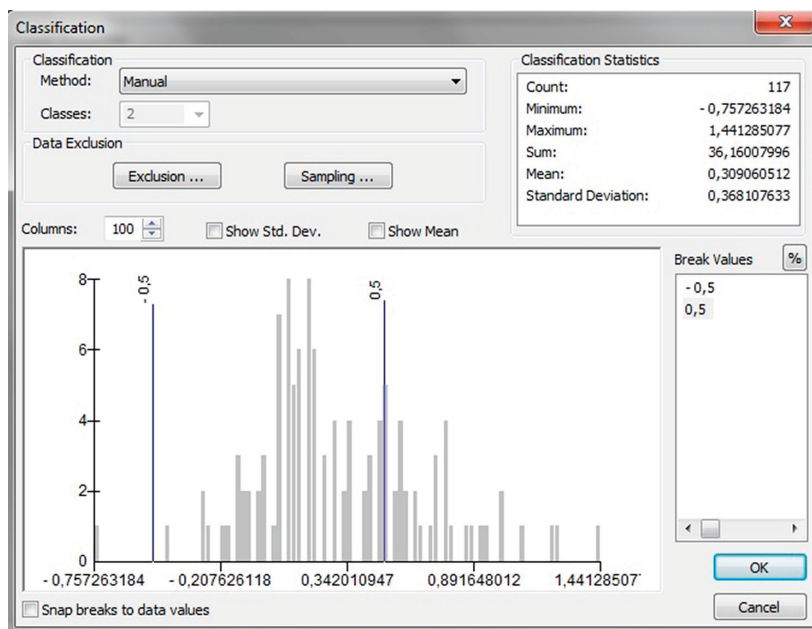
Slika 4. Visinsko odstupanje DMR-a u odnosu na točke geodetske osnove u gradskom području.



Slika 5. Ruralne prometnice s preklapom na DOF5 2011.



Slika 6. Visinsko odstupanje DMR-a u odnosu na točke geodetske osnove u ruralnom području.



Slika 7. Visinsko odstupanje DMR-a u odnosu na točke geodetske osnove u ruralnom području nakon otklanjanja ekstremnih odstupanja.

Ista je analiza provedena i na ruralnim cestama, gdje nema izgrađenih zgrada neposredno uz prometnice (slika 5).

Istraživanje pokazuje da su 102 od 119 točaka (oko 85%) u rasponu od $-0,20$ m do $+0,80$ m, sa srednjom vrijednosti $0,39$ m i standardnim odstupanjem $0,79$ m (slika 6).

Nakon uklanjanja dva ekstrema iz statističke analize, rezultati visinskog odstupanja između DMR-a i katastarskih točaka geodetske osnove pokazuju srednju vrijednost $0,31$ m i standardno odstupanje $0,37$ m u ruralnom području (slika 7). Također, kao što se vidi na slici 7, oko 70% vrijednosti je u rasponu od $\pm 0,5$ m (tablica 2).

Sudeći prema rezultatima (tablica 2), vektorski DMR nastao fotogrametrijskom restitucijom ima malo veću točnost u predgrađu nego u središtu grada.

Tablica 2. Visinsko odstupanje DMR-a u sva tri provedena istraživanja.

Područje	Raspon rezultata	Srednja vrijednost	Standardno odstupanje	Vrijednosti unutar $\pm 0,5$ m
Cijelo područje grada Pule	75% vrijednosti u rasponu ± 1 m	$0,15$ m	$1,12$ m	40%
Gradsko područje	80% vrijednosti u rasponu od $-0,25$ m do $+1$ m	$0,51$ m	$0,65$ m	40%
Predgrađe	85% vrijednosti u rasponu od $-0,20$ m do $+0,80$ m	$0,31$ m	$0,37$ m	70%

Radi provedbe analize i usporedbe, na tri su područja unutar središta grada Pule provedena terestrička mjerenja. Visinska odstupanja analizirana su na mjestu malog nagiba terena gdje je tražena i najveća točnost ulaznih podataka, na mjestu visoke vegetacije te na mjestu guste izgrađenosti grada odnosno gdje je udio vegetacije najmanji. Za ovo istraživanje TIN je izrađen tako da su katastarske točke geodetske osnove uzete kao visinska osnova za interpolaciju vektorskog DMR-a, odnosno točkama se interpolacijom nije mijenjala visina. Za 3D polilinije koje označavaju ulice visina je također održavana nepromijenjenom jer se upravo iznad njih želi postići najveća točnost. Sve ostale 3D linije, 3D polilinije i 3D točke upotrebljavaju se u interpolaciji kao varijabilni podaci. Od podataka prikupljenih terestričkim mjerenjima stvoreni su rasterski DMV-i pomoću sferne Krigingove metode interpolacije. Analizirane su različite metode interpolacije, ali su zbog neučestalih naglih promjena konfiguracija terena sve metode davale slične rezultate. Sferna Krigingova metoda interpolacije upotrebljava se progresivno smanjenje prostorne autokorelacije s obzirom na određenu udaljenost nakon koje je autokorelacija jednaka nuli (URL 2). Prva od triju lokacija specifična je zbog strmih padova oko nje, što dovode do jedne ulice s malim uzdužnim padom od oko 1%. Kako bi takva područja trebala zadovoljiti najvišu točnost za hidrološke projekte, rezultati visinskog odstupanja trebali bi biti najmanji. Međutim, nije bilo tako. Iz statističke analize izbačene su sve ekstremne vrijednosti koje su eventualno kvirile rezultate. Istraživanje pokazuje da se 90% vrijednosti nalazi u rasponu od $-1,3$ m do $+0,30$ m, sa srednjom vrijednosti $-0,56$ m i standardnim odstupanjem $0,65$

m, a samo je 45% vrijednosti u rasponu od $\pm 0,5$ m (tablica 3). Uske ulice u središtu grada, gdje je visok stupanj izgrađenosti te nema vegetacije, opisuje treće istraživanje temeljeno na terestričkim mjerenjima. Provedena statistička analiza pokazuje kako je oko 85% vrijednosti u rasponu od $\pm 0,35$ m, srednje vrijednosti $-0,01$ m, sa standardnim odstupanjem $0,35$ m, a oko 90% vrijednosti je u rasponu od $\pm 0,5$ m (tablica 3). To pokazuje da stupanj urbaniziranosti, tj. izgrađenosti nema nikakav utjecaj na točnost DMR-a. Vektorski DMR dobiven fotogrametrijskom restitucijom, interpoliran pravilnom metodom, tj. da su katastarske točke geodetske osnove uzete u interpolacijski model kao visinska osnova, može zadovoljiti zahtijevanu točnost za neke projekte, kao što su projekti za izgradnju sustava odvodnje oborinskih voda. Takav DMR može se upotrebljavati za neka istraživanja i studije izvedivosti hidroloških projekata uz prethodnu analizu točnosti podataka.

Tablica 3. Rezultati točnosti za tri lokacije različitih topografskih karakteristika.

Područje	Raspon rezultata	Srednja vrijednost	Standardno odstupanje	Vrijednosti unutar $\pm 0,5$ m
Mali nagib terena	90% vrijednosti u rasponu od $-1,3$ m do $+0,3$ m	$-0,56$ m	$0,65$ m	45%
Uske ulice u središtu grada	85% vrijednosti u rasponu $\pm 0,35$ m	$-0,01$ m	$0,35$ m	90%
Šuma	70% vrijednosti u rasponu od $-1,25$ m do $+0,25$ m	$-0,71$ m	$0,63$ m	31%

Iako šume nisu najbolje mjesto za upotrebu prostornih podataka poput vektorskog DMR-a dobivenog fotogrametrijskom restitucijom, zbog male količine ulaznih podataka, istraživanje je provedeno i na jednom takvom području radi usporedbe rezultata. Visinsko odstupanje pokazuje očekivano loše rezultate. Samo je 70% vrijednosti u rasponu od $-0,25$ m do $+0,25$ m, sa srednjom vrijednosti $-0,71$ m i standardnim odstupanjem $0,63$ m, a samo 31% vrijednosti u rasponu je od $\pm 0,5$ m (tablica 3).

4. Zaključak

Za izradu većine građevinskih projekata u gradskim središtima potrebna je najveća točnost izravno na ulicama. Kako bi se uklonile pogreške na tim mjestima, vrlo je važno definirati težine skupovima podataka koji ulaze u interpolacijski model. Provedenom analizom za cijelo područje grada Pule, visinsko odstupanje vektorskog DMR-a dobivenog fotogrametrijskom restitucijom u odnosu na katastarske točke geodetske osnove pokazuje da je više od 40% vrijednosti u rasponu od $\pm 0,5$ m, a više od 75% u rasponu od ± 1 m. Usporedbom visinskog odstupanja između istih skupova podataka na područjima s različitim topografskim značajkama, kao što su središte grada i ruralno područje, rezultati pokazuju da vektorski DMR ima malo veću visinsku točnost na ruralnom području. Više od 85% vrijednosti u rasponu je od $-0,20$ m do $+0,80$ m, sa srednjom vrijednosti $0,39$ m. Kao što se

očekivalo, SRTM podaci imaju znatno nižu visinsku točnost od službenoga vektorskog DMR-a Republike Hrvatske dobivenog fotogrametrijskom restitucijom. Analizom visinske točnosti vektorskog DMR-a, kada su u interpolacijskom modelu katastarske točke geodetske osnove poslužile kao visinska osnova, u odnosu na terestrička mjerenja, dobiveni su različiti rezultati s obzirom na topografska obilježja terena. Kao što se očekivalo, najniža je razina točnosti DMR-a u šumskom području zbog najmanje količine ulaznih podataka. Najbolji rezultati dobiveni su u urbaniziranom području u središtu grada, gdje je izgrađenost u vertikalnom smislu najveća. Više od 85% vrijednosti u rasponu je od $\pm 0,35$ m. Najkritičnija područja za hidrološke projekte su ona koja imaju konstantni mali nagib terena, gdje svi padovi završavaju u jednoj kritičnoj točki. Na takvim područjima ovo istraživanje pokazuje da vektorski DMR dobiven fotogrametrijskom restitucijom treba kombinirati s točnijim ulaznim podacima.

Literatura

- Akajiaku, C. C., Ngozi, B. A. (2015): Geographic Information Systems Based Urban Drainage Efficiency Factors, FIG Working Week, From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World, Bulgaria, Sofia.
- AL-Harbi, S. D., Tansey, K. (2007): The accuracy of a DEM derived from ASTER data using differential GPS measurements, ISPRS, Volume XXXVI-1/W51, Working Group I/5.
- Balenović, I., Gašparović, M., Simić Milas, A., Berta, A., Seletković, A. (2018): Accuracy Assessment of Digital Terrain Models of Lowland Pedunculate Oak Forests Derived from Airborne Laser Scanning and Photogrammetry, Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering, 39, 1, 117–128.
- Bublin, M. (2009): Prostorno i okolinsko planiranje, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo.
- Davidović, M., Petrović, V. M., Borisov, M. (2016): Analysis of the Display of Digital Terrain Models using Different Interpolation Methods, Geodetski list, 70 (93), 3, 267–282.
- de Smith, M., Goodchild, M., Longley, P. (2015): Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools, 5th Edition, The Winchelsea Press, Winchelsea, UK.
- Gamba, P., Dell'Acqua, F., Houshmand, B. (2002): SRTM data characterization in urban areas, ISPRS, Volume XXXIV Part 3 A+B, Commission III, Working Group III, 55–58.
- Höhle, J., Potuckova, M. (2011): Assessment of the Quality of Digital Terrain Models, EuroSDR, Official Publication, No. 60.
- Kwanchai, P., Masataka, T. (2015): Digital elevation models on accuracy validation and bias correction in vertical, Modeling Earth Systems and Environment, Springer International Publishing, 2, 11.
- Mendas, A. (2010): The contribution of the digital elevation models and geographic information systems in a watershed hydrologic research, Applied Geomatics, 2, 1, 33–42.
- Oksanen, J. (2006): Digital elevation model error in terrain analysis, Academic Dissertation in Geography, Faculty of Science, University of Helsinki, Helsinki.

Sefercik, U., Jacobsen, K., Oruc, M., Marangoz, A. (2007): Comparison of SPOT, SRTM and ASTER DEM's, ISPRS, Volume XXXVI-1/W51, Working Group I/5.

Šamanović, S., Medak, D., Gajski, D. (2017): Usporedba metoda interpolacije i slikovne korelacije u prikupljanju podataka za digitalni model visina, Tehnički vjesnik, 24, 2, 419–425.

Šiljeg, A. (2013): Digitalni model reljefa u analizi geomorfometrijskih parametara – primjer PP Vransko jezero, doktorski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Šimek, K., Medak, D., Medved, I. (2016): The use of the Official Digital Terrain Model of the Republic of Croatia in Projects for Water Drainage System Construction, International Symposium on Engineering Geodesy – SIG 2016, 20–22 May 2016, Varaždin, Croatia.

Mrežne adrese

URL 1: ArcGIS for Desktop – Create TIN,
<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/create-tin.htm>,
(11. 6. 2018.).

URL 2: ArcGIS for Desktop – How Kriging works,
<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>,
(11. 6. 2018.).

Height Accuracy Analysis of the Official Vector Digital Terrain Model of the Republic of Croatia Obtained by Photogrammetric Restitution

ABSTRACT. The usage of economically viable and faster measurement techniques for collecting spatial data of larger areas is rapidly increasing. The goal of this article is to examine the height accuracy of the official Digital Terrain Model (DTM) of Republic of Croatia, obtained from photogrammetric restitution, as an example of the mentioned spatial data type. Its origin is precisely the reason why it is the most accurate official DTM of Republic of Croatia, covering urban areas in the whole country. Spatial analysis was completed in areas with different topographic characteristics. Height accuracy testing of the DTM has been performed in regards to the terrain slope, level of city development and vegetation. Its accuracy has respectively been examined by comparison with the official cadastral geodetic control points, terrestrial measurements and Digital Elevation Model (DEM), derived from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data. Preparation and processing of spatial data was carried out using AutoCAD Civil 3D, Global Mapper and QGIS professional software packages, while the accuracy analysis and visualization was processed by ArcGIS software suite. This study is beneficial for feasibility studies for the construction of rainwater drainage systems and for other preparatory actions in the design of geospatial projects on larger area interventions.

Keywords: analysis, height accuracy, DTM, photogrammetry, slope, GNSS.

Primljeno / Received: 2018-04-07

Prihvaćeno / Accepted: 2018-07-13